



# Evaluación preliminar del programa de observaciones de globo piloto de la Fuerza Aérea Colombiana

(Septiembre 2005 – Agosto 2006)

*Preparado por  
Michael Douglas<sup>1</sup> y Javier Murillo<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>NOAA/National Severe Storms Laboratory  
<sup>2</sup>CIMMS/University of Oklahoma  
Norman, Oklahoma USA

*January 6, 2007*



**CACOM 1**  
Comando Aéreo de Combate N° 1  
"Capitán Germán Olano Moreno"



**EMAVI**  
Escuela Militar de Aviación  
"Marco Fidel Suárez"



**CACOM 2**  
Comando Aéreo de Combate N° 2  
"Capitán Luis Francisco Gómez Niño"



**GAORI**  
Grupo Aéreo del Oriente  
"Teniente Coronel Luis Arturo Rodríguez Meneses"



**CACOM 3**  
Comando Aéreo de Combate N° 3  
"Mayor General Alberto Pauwels Rodríguez"



**CACOM 6**  
Comando Aéreo de Combate N° 6  
"Capitán Ernesto Esguerra Cubides"

## **Abstract**

**Este reporte resume algunos aspectos del primer año de observaciones hechas por la Fuerza Aérea Colombiana en 6 estaciones, en colaboración con el proyecto PACS-SONET. Se analizan el número de observaciones, la calidad de los datos y aspectos del campo de vientos promedio. Basado en nuestro análisis se presentan recomendaciones para un uso más efectivo de las observaciones.**

**Los mapas y gráficos que se muestran en este reporte, así como muchos otros que no fue posible incluir, están disponibles en la página de Internet del proyecto en:**

**<http://www.nssl.noaa.gov/projects/pacs/web/COLMEANS/>**

**Se sugiere consultar la página web junto con este documento.**

## **1. Introducción**

Durante la semana del 4 al 8 de abril de 2005, un grupo de investigadores del Laboratorio Nacional de Tormentas Severas (NSSL) se trasladaron a la ciudad de Bogotá, Colombia a fin de llevar a cabo el entrenamiento del personal de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) que estaría encargado de instalar y operar 6 estaciones de globo piloto. Esta actividad estuvo motivada por una invitación de la FAC, representada por el Teniente Coronel Gonzalo Cárdenas Mahecha, Director de Navegación Aérea, quien nos envió una carta indicando el interés de la FAC en participar en la red de PACS-SONET o en una extensión de ésta. El entrenamiento se llevó a cabo en las fechas mencionadas como parte del “Seminario de Meteorología Tropical y Medición del Viento en Altura” que tuvo lugar en el Club de Suboficiales de las Fuerzas Militares.

Durante las sesiones de entrenamiento, el personal de la FAC fue instruido en las técnicas de sondeo de globo piloto, así como en los procedimientos de procesamiento, transmisión y explotación de las observaciones. Algunos meses después, en Septiembre de 2005, las observaciones empezaron en las 6 estaciones.

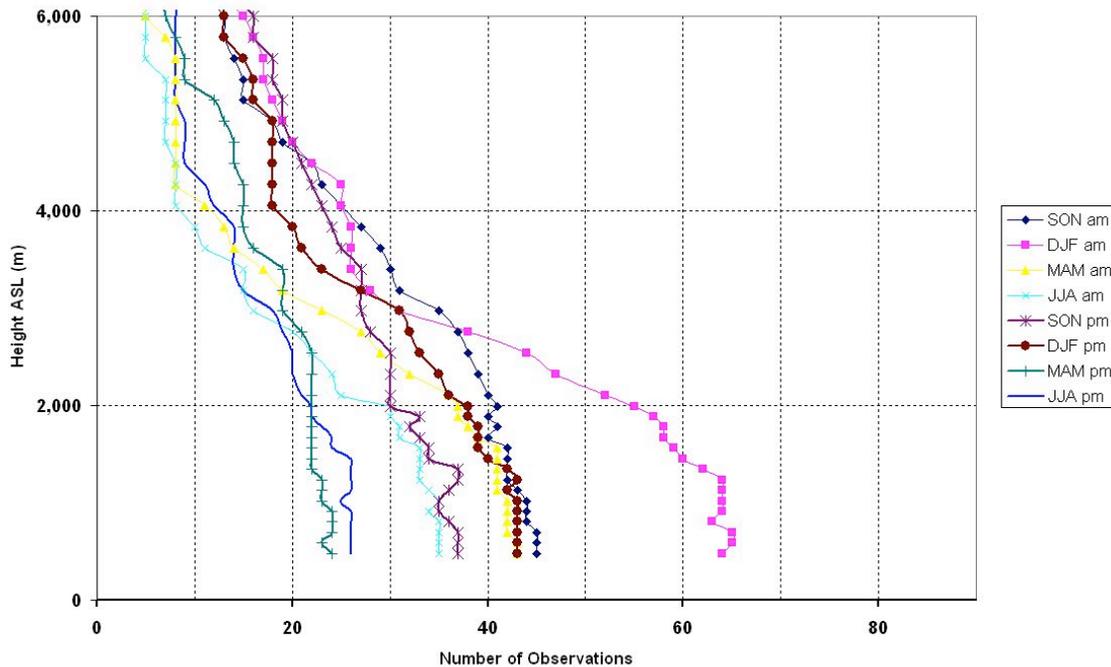
Durante el período de Septiembre 2005 a Agosto 2006, las estaciones realizaron y transmitieron un total de 1,517 observaciones distribuidas de la siguiente forma: 373 en Cali, 318 en Apiay, 273 en Puerto Salgar, 209 en Marandúa, 189 en Tres Esquinas y 155 en Barranquilla. (Barranquilla estuvo fuera de operación de Febrero a Julio de 2006 por problemas del teodolito.)

A diferencia de otras estaciones de PACS-SONET que normalmente transmiten sus datos a NSSL mediante el sistema FTP, la FAC determinó que sus estaciones no utilizarían este método por razones de seguridad. Consecuentemente, el método de transmisión utilizado fue a través de archivos adjuntos en mensajes de correo electrónico. Un inconveniente de este método es que los archivos son extraídos manualmente del mensaje de correo, lo que en la mayoría de los casos ocasiona demoras en la diseminación de las observaciones. Adicionalmente, los datos se transmitieron desde las estaciones a una base central y de ahí a NSSL. La retransmisión desde la localidad central se realizó rutinariamente de lunes a viernes, pero con algunas interrupciones durante los fines de semana. Es probable que un número importante de observaciones no hayan llegado a nuestra base de datos al momento de preparar este reporte.

## **2. Número de Observaciones**

Los gráficos que muestran el número de observaciones como función de la altura son similares en la mayoría de las estaciones, aunque Tres Esquinas muestra evidencia de ser más nublado en términos generales, con muy pocas observaciones llegando a 6 km. Los datos de otras estaciones muestran que aproximadamente 30% de los sondeos llegan a los 6 km, aunque el porcentaje es variable dependiendo del sitio y la estación del año. En general, el período de la estación seca, DJF (Diciembre-Febrero), muestra el mayor porcentaje de globos lanzados que fueron seguidos hasta 6 km (algunos de estos globos llegaron más arriba pero los gráficos muestran solamente hasta 6 km por claridad.)

### Apiay, Colombia, Sep 05 - Aug 06



**Figura 1. Número de observaciones que alcanzaron una altura particular en Apiay. Se muestra una curva por cada periodo de tres meses y hora de observación, AM o PM. Estadísticas para otras estaciones están disponibles en: <http://www.nssl.noaa.gov/projects/pacs/web/COLMEANS/>**

Es evidente que el número total de observaciones es demasiado bajo, comparado con estaciones en otros países. Por ejemplo, Piura, Perú—la mejor estación de PACS-SONET en términos de frecuencia de observaciones, tiene una disminución en número de observaciones en función de la altura similar a la de las estaciones en Colombia, pero tiene una eficiencia del 95% de las observaciones posibles. Estadísticas similares se observan en sitios en México (cuando no se ven afectadas por problemas de falta de globos o gas.) Considerando que hay 90 observaciones posibles en la mañana o en la tarde por cada período de 3 meses mostrado en las figuras, es claro que la mayoría de los sitios está haciendo solamente entre 30 y 40% de las observaciones posibles, y en algunos meses las estadísticas son aún más bajas (ver Fig 1.)

Pensamos que el bajo número de lanzamientos no está relacionado solamente con condiciones atmosféricas adversas. Algunos períodos sin datos de alrededor de 15 días pueden deberse a problemas de disponibilidad de insumos o fallas del equipo de observación. Otros períodos sin datos, que van desde unos cuantos días hasta una semana, tampoco parecen estar relacionados con condiciones de nubes bajas.

### 3. Calidad de las observaciones

Al parecer algunos observadores no utilizan efectivamente el software suministrado (CORRIGE) para corregir las observaciones antes de transmitirlas. Los gráficos de altura contra tiempo muestran muchos valores dudosos, que podrían haber sido detectados fácilmente con CORRIGE.

Otros errores menos obvios, pero que también es importante corregir, están presentes en los datos transmitidos.

La importancia de una base de datos de buena calidad no necesita ser enfatizada. Aunque podemos corregir los datos históricos, hay un número de razones para hacer las correcciones inmediatamente después de realizada la observación. Entre ellas se incluyen las siguientes,

- 1) entrenamiento de los observadores. Si los observadores pueden ver sus errores pueden mejorar sus técnicas de trabajo
- 2) mejores datos en tiempo real. Esto permite una mejor detección de problemas—en caso de ocurrir. También de gran importancia es que la estación no sea incluida en la lista de estaciones sospechosas debido a la frecuencia de reportes con datos erróneos. Si llegan demasiadas observaciones con datos malos de una estación, los esquemas de asimilación de datos globales no utilizan los reportes de dicha estación.

Un manual detallado de CORRIGE y muchas de las fuentes comunes de errores en mediciones de globo piloto se puede consultar en nuestro sitio de Internet en:

<http://www.nssl.noaa.gov/projects/pacs/web/CORRIGE/>

#### **4. Figuras de promedios anuales**

En los gráficos de los promedios anuales es evidente un giro que se extiende sobre los llanos de Venezuela, a través del E de Colombia hasta Perú. Este flujo es aproximadamente paralelo a la topografía andina hasta unos 3500 m, en donde cambia a un flujo más del este. (Ver Fig. 2.)

Son de interés los vientos en Palanquero y Cali, que muestran componentes del sur en la capa entre 1500 m y 4500 m. Esto a pesar del flujo del norte en Tres Esquinas y Apiay.

Es interesante destacar que a pesar del número mucho más bajo de mediciones a, por ejemplo, 7,000 m, los vientos promedio en sitios en la vecindad de Bogotá son similares al viento promedio en esa estación (obtenidos a partir de radiosondeos.) Esto demuestra que no son necesarias una cantidad muy grande de observaciones para describir aproximadamente el flujo anual promedio. (Ver Fig. 3.)

A 300 m SNM hay evidencia clara de la brisa marina en Barranquilla y en Curazao, y de vientos anabáticos (hacia el terreno alto) en Palanquero y Marandúa. El viento en Marandúa es similar a lo que observamos durante la campaña del LLANOJET—con vientos en la tarde moviéndose hacia el terreno alto de Venezuela. Los vientos anabáticos en Palanquero son fuertes, en una capa profunda, y paralelos al eje del cañón. En la mayoría de las estaciones la variación diurna es del mismo signo hasta unos 1,200 m, en donde cambia de signo o se vuelve menos evidente. Los datos de Palanquero muestran una anomalía de viento del sur más profunda, hasta unos 3500 m, con respecto a la media diaria (Fig. 4.)

En Apiay solamente se aprecia una variación diurna relativamente pequeña, pero ésta es en el sentido esperado—hacia el terreno alto durante horas de la tarde.



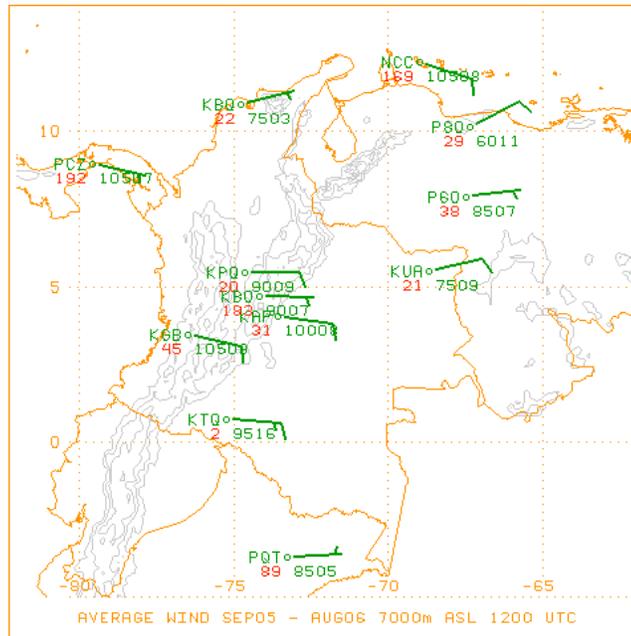


Figura 3. Promedio anual del viento a 7,000 m para el periodo Septiembre-Agosto 2005-6. Los promedios de Palanquero y Apiay son consistentes con el de Bogotá a pesar del reducido número de observaciones (en color rojo en el mapa) de las dos primeras.

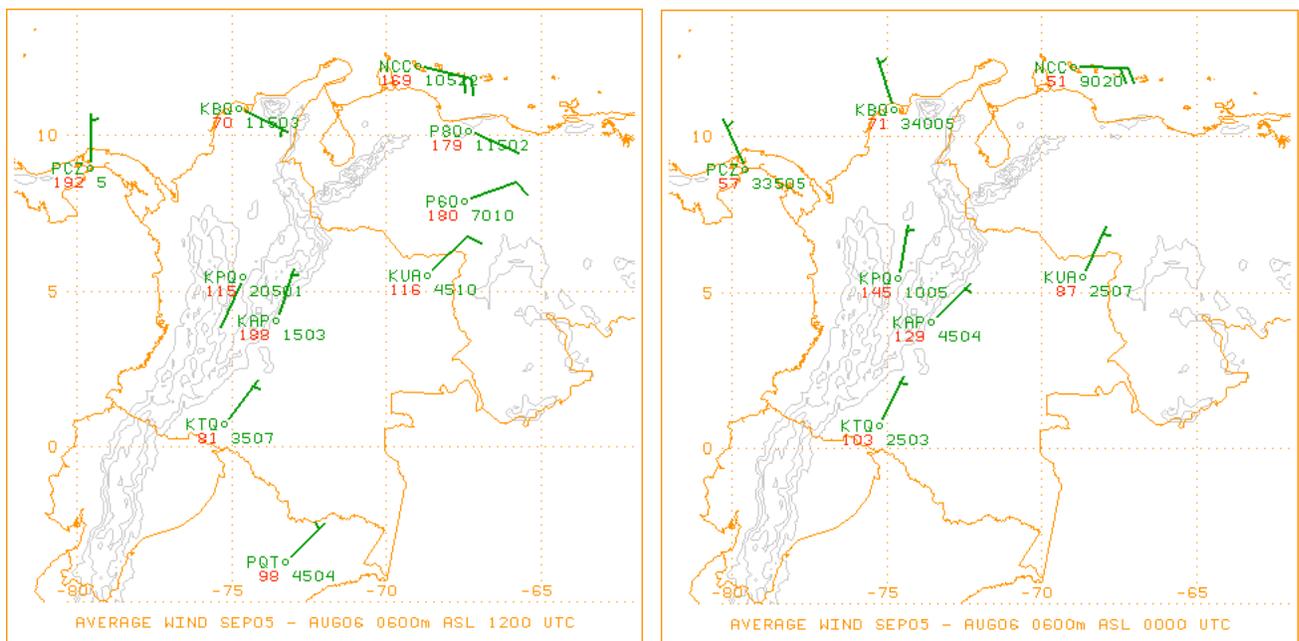


Figura 4. Promedio anual (Septiembre-Agosto 2005-6) del viento a 600m con observaciones de la mañana (mapa de la izquierda) y de la tarde (derecha.) El número en color rojo representa el número de observaciones utilizadas en el promedio. Ver texto.

## 5. Ciclo estacional a partir de promedios de 3 meses.

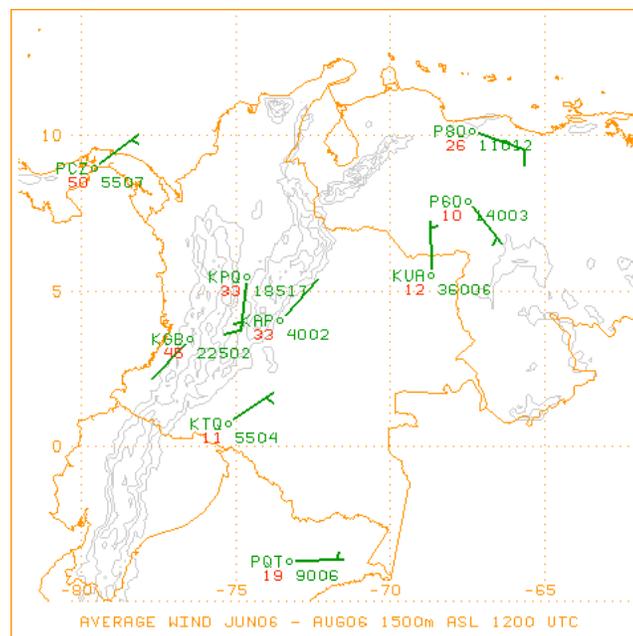
Es evidente, de los promedios estacionales (ver página en Internet citada), que los vientos más fuertes sobre los llanos se presentan durante el período DJF (Diciembre-Febrero), con los vientos más fuertes del NE localizados entre 600-1500 m SNM, dependiendo de la localidad.

El período con los vientos más débiles sobre los llanos, JJA (Junio-Agosto), muestra flujo débil del SE en Marandúa y en las dos estaciones sobre Venezuela. El viento medio en Marandúa a 1500m parece incorrecto—posiblemente debido a una medición errónea. Los datos del 6 de Junio presentan errores serios. (Valores muy altos,  $\pm 10$  veces la desviación estándar, fueron automáticamente excluidos de los promedios, sin embargo errores dentro de ese intervalo fueron utilizados y pueden haber tenido un impacto en los promedios.)

Como se indicó en la sección sobre los promedios anuales, las vientos en Palanquero y en Cali son del sur en la capa entre 1500 y 3000 m durante la mayoría de las estaciones, con el flujo descendente del cañón en Palanquero más intenso en el período JJA.

### *Cambio estacional en Palanquero*

La evolución estacional de los vientos en Palanquero es particularmente interesante. Durante el periodo centrado en Julio persiste un viento de descenso por el cañón (hacia el N) que fluye hacia la planicie costera. En Diciembre (invierno boreal) el flujo es normalmente del N. Este patrón está superpuesto con el ciclo diario, con vientos hacia arriba del cañón durante la tarde y en el sentido opuesto (descendiendo) por la mañana.



**Figura 5. Promedio del viento a 1500m, para el periodo Junio-Agosto 2006 con observaciones de la mañana. El promedio en Marandúa (KUA) parece incorrecto si se compara con San Fernando de Apure (Venezuela, P60) y con los valores en niveles adyacentes (no se muestran en la figura.) No se ha realizado aún un control de calidad estricto a la base de datos.**

## 6. Corrección de errores en la base de datos

Aún antes de verificar las secciones tiempo contra altura de cada estación individualmente, es posible observar evidencia de datos erróneos en los perfiles de las componentes del viento, U y V. Por ejemplo, el perfil de Puerto Salgar en la mañana para SON (Septiembre-Noviembre) muestra una discontinuidad justo arriba de 3500 m, que puede ser debido a un mal dato. Debido a la naturaleza del método de cálculo de los vientos a partir de los ángulos del teodolito, una mala lectura del ángulo resulta en dos datos de viento espurios. Sin embargo, como se mencionó antes, los valores demasiado altos ( $\pm 10$  veces la desviación estándar) son automáticamente excluidos del promedio, mientras que otros valores dentro de ese rango continúan afectando el resultado. El perfil en Marandúa para JJA muestra el mayor efecto de vientos erróneos debido a una mala medición el 8 de Junio. Barranquilla, en los perfiles de la componente zonal U, también muestra serios problemas en niveles altos. Ver figuras en:

<http://www.nssl.noaa.gov/projects/pacs/web/COLMEANS/>.

No se puede asumir inmediatamente que cualquier desviación con respecto de un perfil suave se debe a errores en los datos. Es probable que al disminuir el número de observaciones en niveles altos, diferentes observaciones se utilicen en el promedio de cualquier nivel particular. Si hay muy pocas mediciones, cada observación tiene un peso mayor en el promedio, y entonces se puede producir un salto en cada nivel donde hay un cambio del número de observaciones.

*Falta de uso del software CORRIGE antes de transmitir los datos*

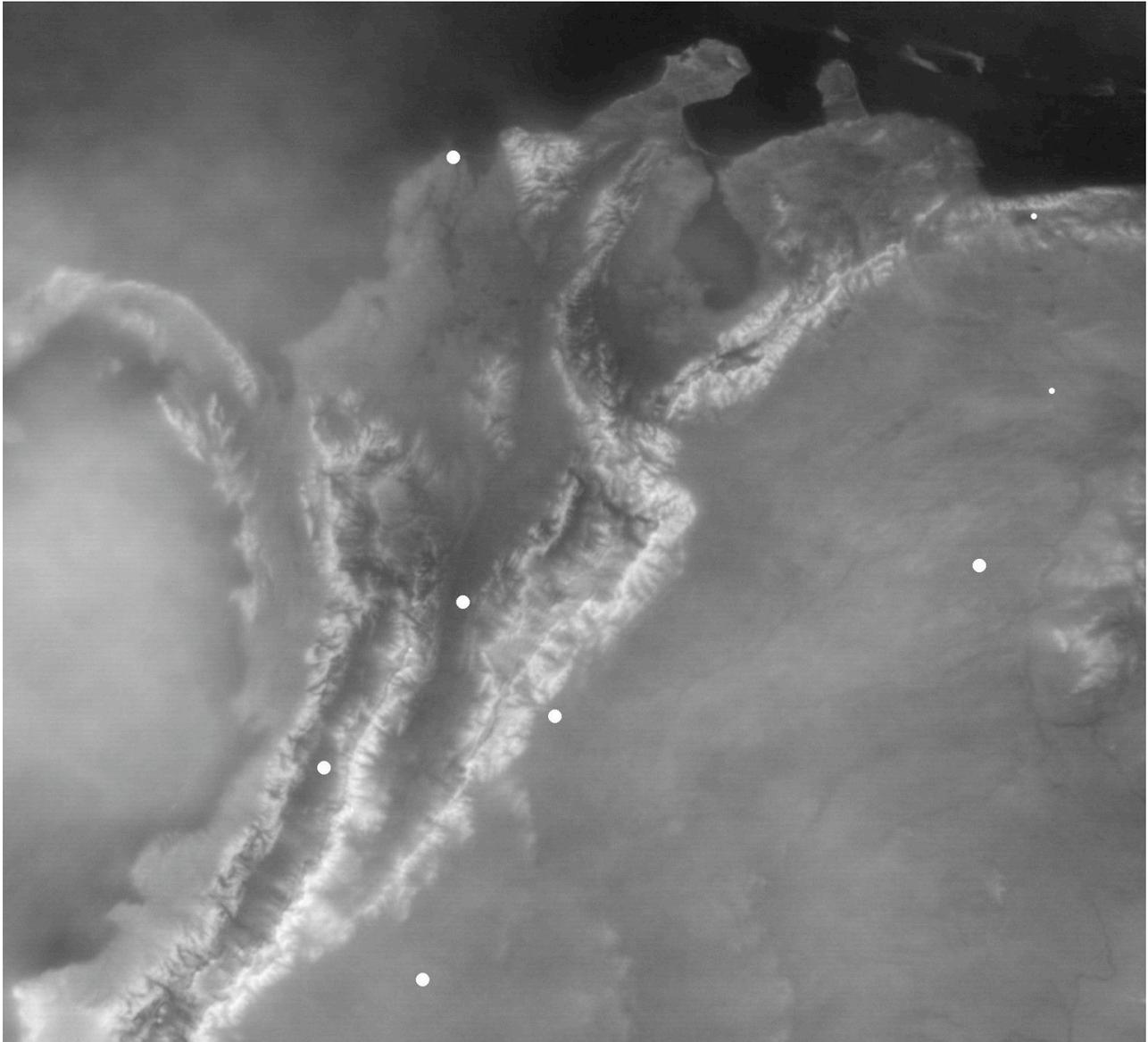
Los gráficos de las secciones tiempo-altura (disponibles en la página web) revelan muchos vientos erróneos. Un solo dato malo al mes puede afectar seriamente el promedio. Por lo tanto es esencial corregir los errores en los datos crudos. Evidentemente, esto no se realizó en muchas de las observaciones.

## 7. Recomendaciones

*Reubicación de las estaciones de globo piloto.*

A partir del análisis de la climatología de la cobertura de nubes, es posible ubicar las áreas más despejadas y proponer la reubicación de las estaciones en sitios donde idealmente se obtendría una mayor frecuencia de sondeos altos. Hemos empezado a hacer este análisis (Fig. 6), sin embargo reconocemos que la reubicación de las estaciones estaría limitada por diferentes factores logísticos.

En este momento no estamos proponiendo cambios específicos a la ubicación de las estaciones, sin embargo sugerimos que las instalaciones de la Armada de Colombia y del Ejército sean también consideradas como parte de una red hipotética. Observaciones en Isla Malpelo siguen siendo de gran interés científico, y podrían ser valiosas para inicializar modelos numéricos sobre la región escasa en datos al oeste de Colombia. Observaciones en la Península de la Guajira—relativamente libre de nubes, similarmente serían valiosas para describir variaciones en el flujo de los alisios sobre el Mar Caribe. Observaciones en la Isla de San Andrés serían una prioridad para la Armada, pero probablemente la FAC necesitaría participar también.



**Figura 6. Promedio de imágenes visibles (con una frecuencia de cada 30 min durante el día) del satellite GOES de Agosto y Septiembre de 2006. Las regiones mas blancas son más nubladas. Los puntos blancos indican la ubicación aproximada de las estaciones de globo piloto—los de Colombia son más grandes que los de otros países.**

*Frecuencia de las observaciones.*

A fin de continuar con el programa de observación de una manera sostenible, sería necesario evaluar la posibilidad de reducir (una vez al día) el número de observaciones, así como revisar el horario de las mismas. Las condiciones de nubosidad son la principal causa de no hacer las observaciones o de que éstas no lleguen a una altura adecuada. Si el horario se mantiene flexible la observación se podría realizar a la hora en que el cielo se encuentra más despejado o cuando las condiciones de visibilidad en general son más favorables. Aunque es preferible tener

mediciones en las horas sinópticas, una mayor flexibilidad en el horario resultaría en una mayor cantidad de observaciones, especialmente a niveles medios y más arriba. Las mediciones hechas en diferentes horarios continuarían siendo útiles para la obtención de valores climatológicos de largo plazo, aunque su uso en otras aplicaciones, incluyendo su asimilación en modelos numéricos, resultaría más complejo.

### *Uso de las observaciones*

Creemos que es crítico evaluar el uso operativo de los datos de globos piloto por los previsores de la FAC a fin de determinar en términos generales el valor de las observaciones de la red de sondeos. ¿Son utilizadas por los pronosticadores localmente? ¿Son desplegadas en cada base donde se realizan? ¿Son las observaciones analizadas en una localidad u oficina de pronóstico central y el análisis transmitido a otras bases? ¿Se obtiene retroalimentación de los pilotos u otros usuarios que podrían beneficiarse con la información? ¿Son los vientos de globo piloto utilizados en combinación con otras fuentes de datos de viento con propósitos de planeación?

Además de las aplicaciones convencionales de los datos de viento, entre las cuales se incluirían pronósticos de viento a poca altura para helicópteros y aeronaves pequeñas, los vientos podrían ser utilizados para pronosticar niveles de contaminación para ciudades cercanas o pronóstico de dispersión desde las fuentes de emisión industriales. Los datos podrían ser distribuidos más ampliamente en Colombia. Esto puede llevarse a cabo fácilmente por medio de un sitio en Internet donde se exhibirían datos y análisis.

Hemos notado el debilitamiento de la red de observaciones de radiosondeo-viento en Colombia durante el periodo. Se han hecho pocas mediciones de radiosondeo en los últimos meses, por razones que no conocemos. Esto demuestra la necesidad de contar con un respaldo para la red rutinaria de mediciones en altura que proporcione mediciones básicas de viento, por lo menos en los niveles inferiores donde se concentran las operaciones de helicópteros y aeronaves pequeñas.

## **8. Conclusiones**

Algunos aspectos de la calidad de los datos deben mejorarse, ya que limitan su uso principalmente en actividades de pronóstico a corto plazo. Lo mismo puede decirse de los métodos de transmisión. Sin embargo, para efectos de investigación y monitoreo del clima, la FAC está haciendo una contribución invaluable al suministrar observaciones adicionales que ayudan a un mejor entendimiento de la circulación sobre la región. En este reporte se presentó una evaluación basada en un análisis preliminar de los datos disponibles, a los cuales no se ha aplicado un riguroso control de calidad. Algunos de los resultados presentados aquí podrían variar después de una revisión estricta de los datos; sin embargo debido a que están basados en promedios de un número grande de observaciones creemos que la mayoría de los resultados aquí presentados no cambiarían significativamente.

## **Agradecimientos**

Agradecemos al personal de la Dirección de Navegación Aérea de la Fuerza Aérea Colombiana por el apoyo recibido durante nuestra estancia en Bogotá y en las sesiones de entrenamiento. En especial agradecemos las facilidades proporcionadas por el Teniente Coronel Gonzalo Cárdenas Mahecha. Reconocemos también la labor de los oficiales de la Subdirección de Meteorología, responsables de coordinar la instalación de las estaciones de globo piloto y de asegurar su operación continua, así como el trabajo de los observadores en cada una de las estaciones.